

Innovative Services auf Basis von 5G und LoRaWAN

Christian Jamnikar
Fakultät Informatik
Hochschule Furtwangen
Furtwangen, Germany
c.jamnikar@hs-furtwangen.de

Florian Zentner
Fakultät Informatik
Hochschule Furtwangen
Furtwangen, Germany
florian.zentner@hs-furtwangen.de

Diese Arbeit gibt einen Überblick über die Mobilfunktechnologien 5G und LoRaWAN. Hierbei werden diese erläutert, Vor- und Nachteile aufgezählt und anschließend innovative und aktuelle Services vorgestellt, die diese Technologien erfolgreich nutzen oder in naher Zukunft nutzen möchten. Hierbei wird der Fokus auf die Umsetzung in kleinen bis mittelgroßen Kommunen gesetzt. Im Laufe der theoretischen Recherche zeigt sich aktuell ein eindeutiger Favorit unter den genutzten Technologien für die Erstellung solcher Services. Dieser ist LoRaWAN. Aufgrund der Verfügbarkeit und der Möglichkeit eines Selbstversuchs wird ein innovativer Prototyp mit dieser Technologie von den Autoren erstellt, der für eine Darstellung der Technologie und die interne Weiterentwicklung genutzt werden kann.

I. EINLEITUNG

„Wenn es einen Weg gibt, etwas besser zu machen: Finde ihn!“ (Thomas Alva Edison)

Die Digitalisierung von Services schreitet weiter voran. Seien es moderne Sensoren, die Staus an Ampeln erkennen oder Mülleimer, die automatisch den Füllstand der Abfuhr für den Abtransport mitteilen. Aktuell gibt es zwei vielversprechende Technologien für die Umsetzung von Wunschprojekten und dem Ziel einer modernen Stadt, einer vollautomatisierten Smart-City näher zu kommen, die einerseits für Privatpersonen, andererseits auch für Soziale Einrichtungen und private Unternehmen in Frage kommen: die 5G- und die LoRaWAN-Technologie.

In dieser Arbeit werden beide Technologien vorgestellt, gegenübergestellt und in beiden Fällen werden aktuelle innovative Services recherchiert, kategorisiert und auf Basis beider Technologien abgebildet. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die Umsetzung in kleinen bis mittelgroßen Kommunen gesetzt.

II. TECHNOLOGIEÜBERSICHT

Für die Kommunikation und den Datenaustausch sind eine ganze Reihe an Technologien denkbar. Nachfolgend werden zwei Technologien allgemein vorgestellt.

A. Mobilfunk 5G

Einer der größten Herausforderungen einer Smart City ist die Übertragung vieler Informationen. Diese Informationen können von Sensoren gesammelt oder zur Steuerung von Aktoren benötigt werden (vgl. [4]). Der neue Mobilfunkstandard 5G kann dazu beitragen, diese Informationen zu übertragen. Beim 5G-Standard handelt es

sich um eine Weiterentwicklung des 4G-Standards (vgl. [5], [6]). Im Gegensatz zu 4G besitzt 5G einige verbesserte Eigenschaften, welche nachfolgend erläutert werden.

1) Datenraten von bis 10 Gbit/s

5G besitzt eine theoretische Datenrate von bis zu 10Gbit/s. Im Vergleich zu 4G hat sich dabei die Datenrate um den Faktor 100 verbessert (vgl. [2][3][5][6][11][12]).

2) Kurze Latenzzeiten

Die Latenzzeit beträgt unter 1ms. Jedoch ist dabei zu beachten, dass die gesamte Latenz einer Anwendung aus mehreren Anteilen besteht (vgl. [3], [6]):

a) Die Verbindung zwischen Mobilgerät und Basisstation. Diese lässt sich unter Laborbedingungen in unter 1 ms realisieren.

b) Latenzen von der Basisstation bis zum Telekommunikationsnetz. Diese Zeit lässt sich nur schwer ermittelt.

c) Die Leistung der beteiligten Server. Diese Latenz ist unabhängig vom 5G-Standard. Sie ist abhängig von der eingesetzten Technologie und der Implementierung der Anwendung und des Backends.

Der US-Telefonanbieter Verizon erreichte im März 2019 eine Ende-zu-Ende-Latenz von etwa 30 ms. Diese Zeiten wurden von ersten Kunden in Chicago und Minneapolis gemessen. Mit diesen Latenzzeiten lassen sich Informationen fast in Echtzeit übermitteln (vgl. [9]).

3) Über 100 Milliarden Mobilfunkgeräte

Durch erweiterte Frequenzbänder, Modulations- und Multiplexverfahren, MIMO und Beamforming soll es möglich sein, mehr als 100 Milliarden Mobilfunkgeräte gleichzeitig zu betreiben, dies ist das 10-fach der Leistung von 4G (vgl. [2][3][5][6][11][12]).

4) Mobilität der Endgeräte

Die Verbindung an das 5G-Netz, von Beispielsweise in Fahrzeug integrierten Endgeräten, soll bei hohen physikalischen Geschwindigkeiten möglich sein. Es wird von bis zu 500 km/h der Endgeräte gesprochen (vgl. [11], [12]).

5) Energieverbrauch

Damit die hohen Datenraten erzeugt werden können wird eine hohe Frequenz benötigt. Da jedoch eine hohe Frequenz

mit einer kurzen Reichweite einhergeht, ist es notwendig, viele Sendestationen zu betreiben. Diese Basisstationen benötigen jedoch weniger Energie, da keine große Reichweite erzielt werden muss (vgl. [9]). Es könnte sich jedoch der Energieverbrauch des Gesamtsystems deutlich erhöhen. Durch die verbesserten Eigenschaften ergeben sich weitere Anwendungsfälle, wofür dieser Mobilfunkstandard eingesetzt werden kann (vgl. [10]). Somit steigt die Datenkapazität, da mehrere Anwendungen entwickelt werden können und sich mehrere Teilnehmer im Netzwerk befinden. Ein weiterer Vorteil ist jedoch, dass mobile Endgeräte mehrere Basisstationen empfangen. Somit verringert sich deren Energieverbrauch. Der Energieaufwand zum Empfangen schlechter Signalstärken ist nichtmehr gegeben, da ein engmaschiges Mobilfunknetz gefordert ist (vgl. [3][6][12]).

Durch diese zum Teil sich konkurrierende Anforderungen gibt es kein gleichförmiges 5G-Netz. Je nach Anforderungen, sind Spezialnetze geplant. Diese werden in drei Anwendungsbereiche unterteilt (vgl. [2][3][6][8][12]):

1) Ultra-schnelles mobiles Breitband (eMBB)

Die übertragene Datenmenge steigt von Jahr zu Jahr. In Zukunft wird mit deutlich höheren Datenmengen gerechnet (vgl. [50]). Um diese hohen Kapazitäten bereit zu stellen, wird 5G angewendet, um eine erweiterte Bandbreite zu ermöglichen. Dabei spricht man von Enhanced Mobile Broadband (eMBB).

Denkbare Anwendungen wären:

- Hochauflösende Videos (4K / 8K)
- Virtuelle Realität (VR) oder Erweiterte Realität (AR)
- Echtzeitsimulationen
- Mobile Reparaturservices
- Medizinische Operationssäle
- Fernlehre

2) Kommunikation zwischen Maschinen (mMTC)

Begriffe wie Internet-der-Dinge (IoT) oder Industrie 4.0 sind geläufige Wegbegleiter. Damit ist nicht nur die Vernetzung zwischen Mensch und Maschine gemeint, sondern auch die Vernetzung von Maschinen und Geräten aller Art untereinander. 5G kann dabei eingesetzt werden, möglichst viele Geräte miteinander zu verbinden. Bei diesen Geräten handelt es sich neben leistungsfähigen Endgeräten auch um eine Vielzahl an IoT-Geräten, wie etwa Sensoren und Aktoren. Diese IoT-Geräte besitzen wenig Rechenleistung und sind meist batteriebetrieben mit geringen Energiekapazitäten. Die Geschwindigkeit spielt bei den versendeten, geringen Datenmengen eine eher untergeordnete Rolle. Jedoch werden diese Daten über weite Strecken transportiert, wodurch ein großflächiges Netz gefordert ist. Dieser Anwendungsfall wird unter dem Begriff Massive Machine-type Communication (mMTC) deklariert. Denkbare Einsätze dieses Anwendungsfalls liegen im Bereich von SmartHome und SmartCity.

3) Hoch-Zuverlässigkeitsnetz (uRLLC)

Autonomes, vernetztes Fahren stellt wiederum andere Anforderungen an das Netz. Informationen müssen schnell und zuverlässig aufgrund von Sicherheitsaspekten übertragen

werden. Extrem kurze Latenzzeiten und eine große Netzabdeckung müssen hierfür geschaffen werden. Daten sollten in Echtzeit immer und überall übertragen werden können. Unter Ultra reliable and Low Latency (uRLLC) wird dieser Anwendungsfall gefasst. Weitere Anwendungen lassen sich in der Industrie-automatisierung oder beim Einsatz von Drohnen finden.

B. LoRaWAN / LoRa

Der Begriff LoRa ist ein Akronym und besteht aus den Teilen Long und Range (Engl: hohe Reichweite). Diese patentierte Technologie wurde explizit für die weitreichende Kommunikation von der französischen Firma Cycleo entwickelt [13]. Cycleo wurde später von der Semtech Corporation übernommen (vgl. [14]). Die LoRa-IoT-Software ist seit Mai 2019 Open-Source [17].

Basierend auf der "Chirp Spread-Spectrum-Modulation", in der Übertragungsfrequenzen in Chirp-Impulse gespreizt werden, dient diese zur Kommunikation zwischen "[...] weitreichender Kommunikationsverbindungen" [18] und können mit wenigen Gateways und Basisstationen "[...] ganze Städte [...]" [18] abdecken. Abbildung 1 zeigt dabei den theoretischen Abdeckungsradius eines LoRaWAN-Gateways der Firma Zenner in Villingen-Schwenningen.

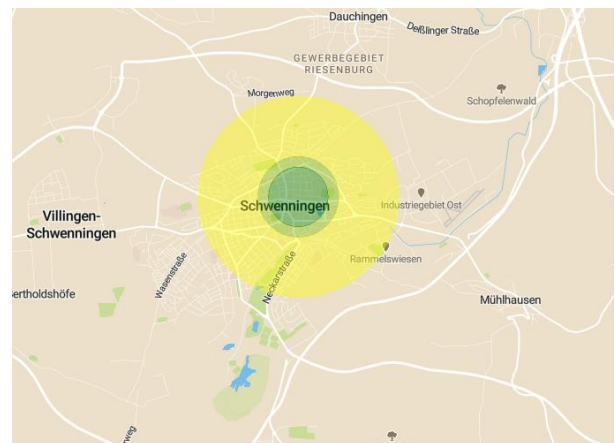


Figure 1: Abdeckungsradius eines Gateways der Firma Zenner in Villingen-Schwenningen [20]

1) Systemarchitektur

LoRaWAN definiert die Systemarchitektur und das Kommunikationsprotokoll für das LoRa-Netzwerk.

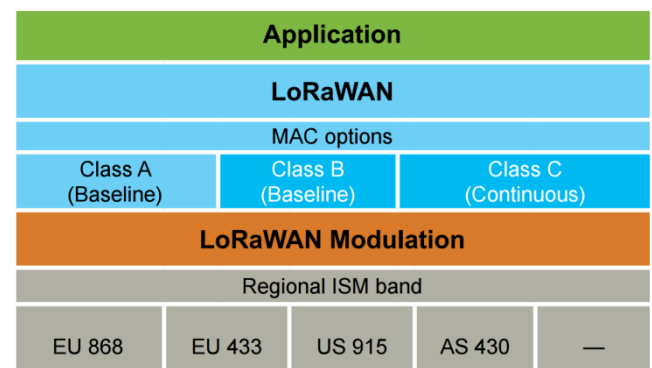


Figure 2: LoRaWAN Systemarchitektur [18]

Das Applikation Layer beinhaltet die zu versendenden Daten. Gefolgt wird es vom LoRaWAN spezifischen MAC Layer.

Hierbei werden drei verschiedene Varianten von Endgeräteklassen definiert:

- Bidirektionale Endgeräte der Klasse A: Die Kommunikation wird nach dem ALOHA-Prinzip gesteuert. Hierbei sendet das Gerät ein Datenpaket und wartet zwei Receive-Fenster auf Antworten, die für den Datenempfang genutzt werden können.
- Bidirektionale Endgeräte der Klasse B: Geräte öffnen zu selbst definierten Zeiten die Download-Receive-Fenster.
- Bidirektionale Endgeräte der Klasse C: Die Endgeräte halten permanent ein Download-Receive-Fenster offen. Diese Geräte können aufgrund des hohen Stromverbrauchs nicht batteriebetrieben werden.

Anschließend folgt noch das LoRa-spezifische Physical Layer, welches die Modulation und die regionsspezifischen Frequenzbänder beinhaltet:

Europa nutzt das 868 MHz und das 433 MHz Frequenzband, die USA das 915 MHz und der asiatische Raum das 430 MHz Frequenzband.

Dadurch, dass die Endgeräte asynchron kommunizieren und nach dem ALOHA-Prinzip erst die Kommunikation beginnen, sobald eine Kommunikation nötig ist, eignet sich diese Technologie hervorragend zur Nutzung von batteriebetriebenen Endgeräten. Im Gegensatz zu GSM ist keine regelmäßige Synchronisation notwendig. Dadurch wird eine "mehrjährige Batterielebensdauer" [18] ermöglicht. Einige Quellen sprechen sogar von einer Batterielebensdauer von "bis zu 10 Jahren" [13].

2) Netzwerkarchitektur

Die Netzwerkarchitektur von LoRaWAN gleicht einem sternförmigen Mesh-Netzwerk.

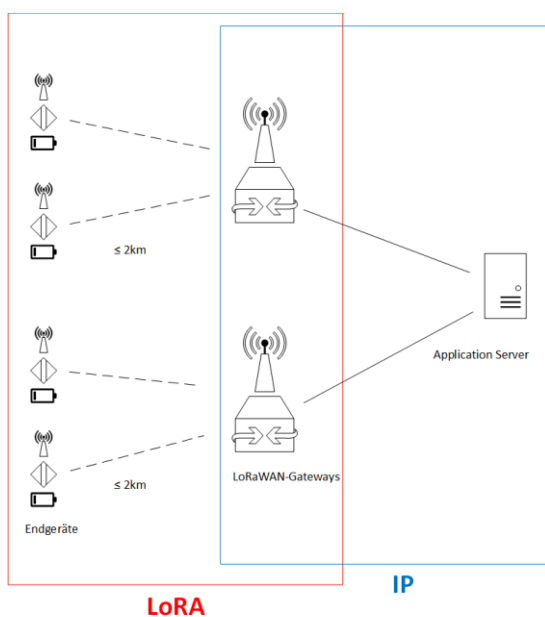


Figure 3: LoRaWAN Netzwerkarchitektur

Dies bedeutet, dass die einzelnen Endknotenpunkte die Informationen anderer weiterleiten. Hierdurch werden der Kommunikationsbereich und die Zellengröße erhöht. Dadurch wird eine Interoperabilität zwischen Endgerät und Gateway gewährleistet.

Ein Endgerät, wie beispielsweise ein Sensor, kann die Position wechseln und trotzdem wird die volle Funktion gewährleistet, sobald ein anderes funktionelles Gateway in Verbindungsreichweite existiert, mit dem es sich automatisch verbinden kann.

Die Anzahl der kommunizierenden Endgeräte pro Gateway ist offiziell unbegrenzt. Der sogenannte ADR (adaptiver Datenraten Algorithmus) reduziert dabei dynamisch die Bandbreite, wenn viele Endgeräte mit einem Gateway kommunizieren.

In der Studie "Understanding the Limits of LoRaWAN" wurde die Bandbreite eines Gateways bei vielen Endgeräten ausführlich untersucht und gemessen. Bei einer Anzahl von 250 gleichzeitig kommunizierenden Endgeräten mit 50 Bytes Payload wurde hierbei eine maximale Bandbreite von 7850 Bytes pro Stunde gemessen, während 5000 Endgeräte die Bandbreite auf 365 Bytes pro Stunde begrenzen. [13]

Um die maximale Batterielebensdauer zu gewährleisten, wird die Datenrate vom Gateway ebenfalls mit dem ADR gesteuert.[15] Sie erreicht laut offiziellen Angaben zwischen "0,3 kbps bis hin zu 50 kbps" [15].

3) Vorteile der Technologie:

Zusammengefasst bietet LoRaWAN folgende Vorteile:

- Durch die Open-Source Lizenz darf jeder ein eigenes LoRaWAN Gateway in Betrieb nehmen und dieses in das LoRaWAN Netzwerk integrieren. Eine Lizenzierung ist nicht nötig.
- Es existiert keine Abhängigkeit von staatlich- oder privatfinanzierten Sendemasten wie bei der Mobilfunktechnologie. Jede Rechtsperson kann ein Gateway erwerben und in Betrieb nehmen.
- Die Interoperabilität ermöglicht die komfortable Nutzung und Integration von Hard- und Software.
- Es existiert eine große LoRaWAN-Community, die sich auf Plattformen wie "The Things Network" organisieren und austauschen. Am 02.07.2020 waren insgesamt 11813 registrierte Gateways zur öffentlichen Nutzung freigeschaltet [19].
- Die Reichweite der Kommunikation der Hardware ist hoch. Bis zu einer Entfernung von 2 km können die Endgeräte mit den Gateways kommunizieren [18].
- Die hohe Batterielebensdauer der Endgeräte eignet sich hervorragend für den Einsatz in Projekten, in denen multiple Sensoren ohne stationären Anschluss ans Stromnetz eingesetzt werden.

III. INNOVATIVE PROJEKTE

Durch die Kombination aus Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT) mit der physikalischen

Umwelt ergeben sich neue Anwendungsgebiete. Viele dieser lassen sich in Kommunen und Städten realisieren. "Der Sammelbegriff Smart City beschreibt ganzheitliche Entwicklungskonzepte, die zur Effizienzsteigerung in Städten sowie zu einem weiteren technologischen Fortschritt führen sollen" [36].

Die Regierung von Hongkong hat im Mai 2020 bekannt gegeben 5G Projekte finanziell zu subventionieren. Hauptziel ist die Bekämpfung der CoVID-19 Pandemie sowie deren Auswirkungen. Bis November 2020 können Projekte bei der OFCA angemeldet werden. Diese Projekte werden anschließend mit bis zu 500.000 HKD (64.483 USD) subventioniert. Nahezu 100 Projekte werden durch diese Finanzierung gefördert, die laut Angaben in Kürze bekanntgegeben werden sollen [16].

Durch die Vielzahl von möglichen Anwendungen wurden mehrere Versuche unternommen diese zu kategorisieren. Die Autoren dieser Arbeit haben mehrere Kategorisierungsversuche zusammengefasst und sich auf die nachfolgenden Kategorien festgelegt. Diese werden nachfolgend beschrieben und mit konkreten Projekten erläutert. Abschließend wird versucht, die Projekte auf kleine und mittelgroße Kommunen zu projizieren.

A. Smart Environment:

Smart Environment bezieht sich auf ein intelligentes System, welches darauf ausgelegt ist, die Veränderungen der Umwelt zu ermitteln und gegebenenfalls zu beeinflussen. Das Ziel einer Smart Green City ist es, einen bewussten Umgang mit der Natur zu wahren. Es sollen nicht nur die Bedürfnisse der heutigen Generation, sondern auch der zukünftigen Generation erfüllt werden. Dazu zählt, die Umwelt nicht auszunutzen und Ressourcen verschwenderisch zu behandeln (vgl. [29]). Neben Treibhausgasen und CO₂ können auch Faktoren wie etwa Geräuschpegel, Temperaturen, Wasservorkommen oder Giftstoffbelastungen ermittelt werden.

Smart Living (Education & Safety & Healthcare):

Die Kategorie Smart Living setzt sich aus den Bereichen Lehre, Sicherheit und Gesundheit zusammen. In diese Kategorie fallen alle Anwendungen, welche direkt auf den Nutzer anwendbar sind. Anwendungen aus diesem Bereich können den Menschen helfen, ihr Leben zu erleichtern. Aber auch Systeme, welche zur allgemeinen Sicherheit beitragen, sind unter dieser Kategorie zu finden. Dies sind z.B. Systeme, die frühzeitig vor Naturkatastrophen warnen. Die Autoren der wissenschaftlichen Arbeit "Flood and Earthquake Detection and Rescue Using IoT Technology" [47] stellen ein System vor, welches frühzeitig vor Hochwasser und Erdbeben warnt. Behörden können damit in Echtzeit überschwemmte oder erdbebenbetroffene Gebiete überwachen. Ebenfalls informiert dieses System über Anwesenheit von Menschen in diesen Gebieten.

Durch den geringen Energieressourcenverbrauch und hohen Sendereichweiten der LoRaWAN-Technologie können solche Systeme ebenfalls in kleinen, ländlichen Kommunen eingesetzt werden. Durch teilweise abgelegene Randgebiete kann es bei Naturkatastrophen wie etwa Hochwasser schnell zu einer Abschottung kommen. Durch überschwemmte oder zerstörte Zufahrtsstraßen sind diese Gebiete für Außenstehende schwer zugänglich. Mit energiesparenden Systemen kann erfasst werden, ob sich noch Menschen im betroffenen Gebiet befinden und auf Hilfe angewiesen sind.

Selbst mit Solarenergie können diese Systeme betrieben werden und ein Signal über weite Strecken transportieren. Dies kann in Notsituationen eine Signalübertragung gewährleisten, um nötige Hilfsleistungen einzuleiten.

B. Smart Energy

Die Kategorie Smart Energy beschäftigt sich mit den Anwendungsfällen von der Energiegewinnung bis hin zum Endverbraucher. In dem wissenschaftlichen Artikel "Energy services for the smart grid city" [31] wird beschrieben, inwiefern Sensoren eingesetzt werden können, um den Weg des Stromes von der Erzeugung bis zum Endverbraucher aufzuzeigen und wie er kontrolliert werden kann. Beispiele hierfür sind etwa Smartmeter, welche in vielen Haushalten installiert sind und automatisiert aktuelle Verbrauchsdaten an die Stromanbieter versenden. Somit kann etwa der Kunde seinen Energieverbrauch überwachen und Energieanbieter die Kundenbasis gezielt steuern. Ebenso ist es möglich die Energieeffizienz von Geräten zu bewerten oder zusätzliche Dienstleistungen wie beispielsweise das Einschalten der Waschmaschine beim nächtlichem Energieüberschuss.

C. Smart Industries:

Durch intelligente und vernetzte Maschinen lässt sich der Industriebereich beeinflussen, sei es von kleinen landwirtschaftlichen Pflanzensensoren, über Drohnen zur „Inspektionen von Solarparks, Windrädern, Stromleitungen und Gebäuden“ [43], bis hin zu vollautomatisierten Fabrikhallen. Da es sich bei kleinen und mittelgroßen Kommunen des Öfteren um ländliche Gebiete handelt, können Anwendungsgebiete sowohl in Fabrikhallen wie auch auf landwirtschaftlicher Ebene gefunden werden.

D. Smart Governance:

In der Stadtverwaltung sowie der Administration kann durch den Einsatz von Sensoren und Aktoren der Ressourcenaufwand gezielter angepasst werden. So zeigt der Füllstandsensor "Oskar" den Stadtwerken Karlsruhe an, welcher Mülleimer gefüllt ist und entleert werden muss. So können die Abfallbetriebe eine gezielte Route erstellen und nur volle Mülleimer entleeren [44]. Damit dieses Konzept funktioniert, müssen zum einen Mülleimer mit Sensoren ausgestattet werden, zum anderen müssen die Stadtwerke und Kommunen administrative Prozesse anpassen, wie etwa das Entlohnungsmodell. Aktuell werden teilweise die Stadtwerke nach gefahrener Strecke bezahlt und nicht nach der Anzahl der geleerten Mülltonnen (vgl. [45]).

E. Smart Mobility:

Durch das erhöhte Verkehrsaufkommen innerhalb von Städten ist die Gefahr eines Staus hoch. Mithilfe von intelligenten Systemen lässt sich das Staupotential jedoch verringern. So können Verkehrsampeln je nach Verkehrslage speziell reagieren. Ein Beispiel dafür liefert das Projekt "Smart traffic light for congestion monitoring using LoRaWAN" aus Malaysia (vgl. [31]). Hierbei wurde mithilfe der LoRaWAN-Technologie Sensoren an Ampeln angebracht, welche die Anzahl der stehenden Fahrzeuge ermitteln. Abschließend wurde ein theoretischer Ansatz zur Ampelsteuerung entwickelt, um einen besseren Verkehrsfluss zu ermöglichen.

Zusätzlich hat die Regierung in Seoul, Südkorea, ein Pilotprojekt gestartet. In diesem Projekt sollen autonom fahrende Busse Pendler von U-Bahnstationen zu ihren Wohnungen befördern. In Kooperation mit dem

Mobilfunkanbieter LGU+, der Seoul National University und dem Hersteller von autonomen Fahrzeugen AUTOMOS sollen diese selbstfahrenden Shuttles entwickelt und getestet werden. LGU+ wird dabei eine 5G-basierte, autonome Fahrzeugkontrollturm-Plattform und eine vehicle-to-everything-Kommunikation (V2X) bereitstellen. Diese ermöglicht es den Shuttles, mit Einrichtungen auf der Straße, wie Ampeln und digitalen Straßenschildern, zu kommunizieren. Die Seoul National University soll dazu den Algorithmen für den Fahrzeugbetrieb entwickeln, während AUTOMOS die Shuttles zur Verfügung stellt.

Dabei wurden schon konkrete Phasen des Projektes veröffentlicht:

In Phase 1, die laut Angaben des LGU+ PR-Manager Do Min-seon schon “[...] in der zweiten Hälfte dieses Jahres beginnen“ soll, wird ein einzelnes, selbstfahrendes Shuttle eine einzige Hin- und Rückfahrt von etwa fünf Kilometern pro Fahrt zurücklegen. “Der Testbetrieb [...]“ wird im “[...] nächtlichen autonomen Pendelverkehr“ durchgeführt.

In Phase 2, die im Jahr 2021 startet, werden diese Shuttles auf ca. acht Einheiten erweitert und sollen fünf verschiedene Routen vollkommen autonom abfahren können.

Weitere technische Details oder detailliertere Umsetzungspläne sind zum Zeitpunkt dieses Dokuments leider noch nicht bekannt.

Auch die Suche nach einem Parkplatz wird zur Qual. Selbst in kleinen und mittelgroßen Kommunen ist die Parkplatzsuche eine Herausforderung. Mit dem Sensor “Parking Lot Sensor“ [48] lässt sich bereits vor Ankunft ein geeigneter Parkplatz finden. Parksensoren melden belegte oder freie Parkplätze, welche über eine Anwendung direkt abgerufen werden können.

Um erst gar nicht in die Situation zu kommen, einen Parkplatz suchen zu müssen, hat es sich etabliert Mitfahrgelegenheiten zu nutzen. So reduziert sich das Verkehrsaufkommen innerhalb von Städten. Sogenannte “Mitfahrbänke“ realisieren einen Ansatz, um bequem von einer Position A zu einem Ziel B zu gelangen (vgl. [46]).

Da es jedoch nicht immer ersichtlich ist, ob aktuell eine Person auf einer Mitfahrbank sitzt und auf eine Mitfahrgelegenheit wartet, haben die Autoren einen Prototyp entwickelt. Dieser Prototyp stellt zum einen die Anwendung einer Mitfahrbank vor, zum anderen sollen die technologischen Hintergründe und Funktionsweisen von LoRaWAN verdeutlicht werden.

IV. MITFAHRBANK

Mit diesem Prototyp wollen die Autoren eine Anwendung demonstrieren, wie LoRaWAN eingesetzt werden kann. Es wurde ein Prototyp einer Mitfahrbank entwickelt, welche über LoRaWAN den aktuellen Belegungsstatus sendet. Wie unter [46] beschrieben, handelt es sich bei einer Mitfahrbank um eine Sitzbank mit besonderer Bedeutung. Durch das Setzen auf diese Bank wird signalisiert, dass man gerne eine Mitfahrgelegenheit hätte. Dieses Konzept wurde dahin erweitert, dass die Sitzbank selbstständig eine Statusänderung versendet. So können auch potentielle Fahrer prüfen, ob es mögliche Mitfahrerwünsche in der Nähe gibt. Technisch wurde diese, wie in dem Abschnitt *Systemarchitektur* beschriebene 3-Schichten-Architektur realisiert.

A. Sensorschicht:

In der Sitzbank ist ein Sensor verbaut, welcher den Mitfahrwunsch registriert. Hierbei sind mehrere Sensorlösungen denkbar wie etwa Massensensoren, Touchsensoren, Ultraschallsensoren oder optische Sensoren. Der Sensor erfasst die Anwesenheit einer Person und detektiert damit den Mitfahrwunsch. Daraufhin wird ein Datenpaket über LoRaWAN versendet. Hierfür wurde ein Marvin-IoT-Board [49] verwendet, welches das Datenpaket zusammen mit der MAC-Adresse über die Funkschnittstelle versendet. Befindet sich ein LoRaWAN-Gateway in Empfangsnähe nimmt dieses das Datenpaket entgegen.

B. Gatewayschicht:

Das LoRaWAN-Gateway empfängt das Datensignal eines Senders. Dieses Gateway entschlüsselt die Geräteerkennung und leitet diese Kennung zusammen mit einem Zeitstempel und dem Datenpaket ans Internet weiter. Als Gateway wurde ein Raspberry Pi mit Dragino-LoRa / GPS Hat und ein RAKwireless 7258 verwendet. In einer Zwischenschicht wurde TheThingsNetwork (TTN) verwendet. TTN nimmt die Nachricht entgegen und leitet das Datenpaket an die registrierte Anwendung weiter. Damit dies funktioniert, muss das LoRaWAN-Gateway in TTN registriert sein. Damit das Nachrichtenpaket zugeordnet werden kann, müssen die Geräteerkennung des Senders mit der Kennung der Endapplikation TTN bekannt gemacht werden. Dieser Zwischenschritt über TTN könnte theoretisch entfallen, jedoch muss das Routing durch das Internet selbst durchgeführt werden. TTN vereinfacht hier die das Konzept des Prototypens.

C. Applikationsschicht

TTN sendet das Nachrichtenpaket an einen zuvor angegebenen Server. Auf diesem Server wird das Paket entschlüsselt und die Nachricht ausgewertet. Anhand der Geräteerkennung kann der Mitfahrwunsch einer Sitzbank zugeordnet werden. Diese Bank wird auf einer Karte markiert. Zur Kartendarstellung wurde OpenStreetMap verwendet. An der Stelle der Mitfahrbank wird ein Marker auf der Karte eingeblendet. Als Backend wurde ein Cloud-Server verwendet, welcher eine öffentlich zugängliche Schnittstelle zu einem php-Script bietet. Die Nachricht wird darin entgegengenommen, aufbereitet und über ein WebSocket an ein JavaScript gesendet. Das JavaScript erstellt an der gegebenen Koordinate ein Marker auf der OpenStreetMap-Karte.

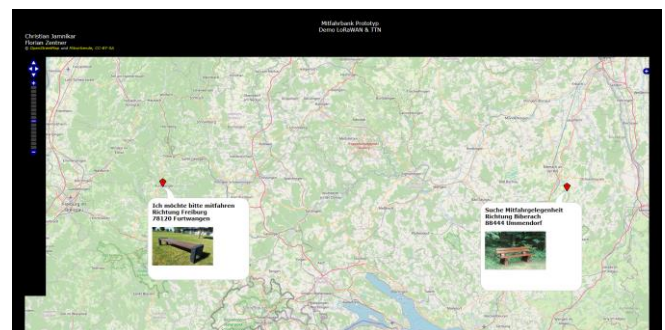


Figure 4: Mitfahrbank Prototyp Webseite

V. ZUSAMMENFASSUNG UND ZUKUNFTSPROGNOSE

Die 5G-Technologie ist zukunftsorientiert. Das bedeutet aber, dass die Technologie aktuell in vielen Ländern noch in den Kinderschuhen steckt. Der Vorreiter in der flächenweiten

Abdeckung ist Südkorea mit ca. 10% landesweitem Deckungsgrad, [39] während in Deutschland nur in wenigen Großstädten 5G für die allgemeine Bevölkerung verfügbar ist.

Forschungseinrichtungen, wie das Fraunhofer Institut, errichten 5G-Testumgebungen, in denen kleine und mittelständische Unternehmen potentielle Geschäftsideen in Kooperation erforschen können. Im Mai 2020 wurde die fünfte Testumgebung in Karlsruhe eröffnet (vgl. [40]).

Bis zum Jahr 2025 prognostiziert der Ericsson Mobility Report, dass ca. 75 % der Nordamerikanischen Mobilfunknutzer die 5G-Technologie nutzen werden, während in Europa eine Nutzungsrate von 55 % erwartet wird.

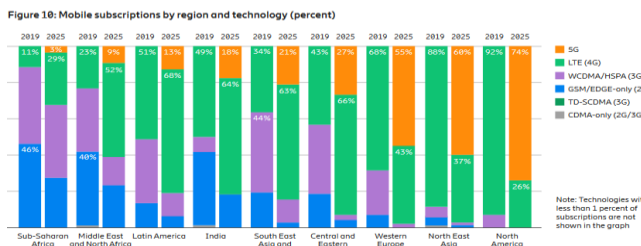


Figure 5: Prognose regionale Mobilfunknutzer nach Technologien [38]

Bei LoRaWAN handelt es sich um eine Technologie, welche aufgrund der technischen Eigenschaften einige Vorteile liefert. Je nach Anwendungsfall liefert LoRaWAN die notwendigen Eigenschaften um Daten innerhalb, sowie im Umkreis einer SmartCity zu versenden. Zu den Vorteilen zählt etwa die energiesparende Technologie, um Daten über weite Strecken zu versenden. Jedoch sollten die Nachteile nicht außer Acht gelassen werden. Dazu zählen etwa die geringe Datenmenge sowie die nicht gesicherte Nachrichtenzustellung. Es ist jedoch zu sagen, dass es sich bei LoRaWAN (insbesondere durch TheThingsNetwork) um eine gesunde und große Community handelt. Je nach Anwendungsfall ist diese Technologie eine interessante Alternative zu WLAN oder Mobilfunk.

Beide Technologien bieten Vor- und Nachteile. Während 5G die bessere Bandbreite und potentiell eine höhere Netzabdeckung auch in ländlicheren Gebieten bietet, ist der Nutzungsgrad in kleinen- bis mittelgroßen Kommunen in naher Zukunft fragwürdig, da sich der Netzausbau anfänglich auf die großen Städte konzentrieren wird. Außerdem kommt eine weitere Frage hinzu: Was passiert, wenn das Mobilfunknetz ausgelastet ist und wichtige Daten übertragen werden müssen? Gibt es Pläne für eine Priorisierung von Datenpaketen und wenn ja, wie lassen diese sich mit der Netzneutralität vereinbaren?

LoRaWAN hingegen hat zwar eine geringere Bandbreite, besitzt aber den Vorteil, dass theoretisch jede Person einen Sensor, ein LoRaWAN-Gateway und eine Applikation im Things Network registrieren, installieren und in Betrieb nehmen kann, wodurch die Unabhängigkeit von Netzanbietern erreicht wird. Die hohe Kommunikationsreichweite der Geräte und der geringe Batterieverbrauch der Sensoren bieten ebenfalls viele Möglichkeiten zur Umsetzung von innovativen Projekten, seien sie von Privatpersonen oder von staatlichen oder privaten Unternehmen.

Aktuell sehen die Autoren die LoRaWAN-Technologie im Vorteil für die Umsetzung von innovativen Services im

Bereich der kleinen bis mittelgroßen Kommunen. Die Flexibilität der Instandsetzung und Benutzung auf eigene Verantwortung spricht für sich: Während der Recherchearbeit wurden viele aktuelle LoRaWAN-Projekte gefunden, während im Bereich 5G die Projekte größtenteils noch in den Startlöchern oder in der Planungsphase stehen. Das Projekt der selbstfahrenden Shuttles in Seoul ist ein Musterbeispiel für ein Projekt, wo die 5G-Technologie aufgrund der lokalen Netzabdeckung, Bandbreite und nahtlosen Kommunikation zwischen mehreren, sich zum Teil bewegendenden Endgeräten eine bessere Wahl als LoRa ist. Jedoch sehen die Autoren für stationäre Sensoren die LoRaWAN-Technologie aktuell im klaren Vorteil.

Durch die aktuelle Corona-Krise und die dadurch beschleunigte Digitalisierung könnten in naher Zukunft noch einige interessante Projekte entstehen.

REFERENCES

- [1] Elena-Madalina Oproiu, Marius Iordache, Cristian Patatchia, Catalin Costea, and Ion Marghescu, "Development and Implementation of a Smart City Use Case in a 5G Mobile Network's Operator" Serbia, Belgrade, November 21-22, 2017
- [2] „5G: Mobilfunk-Standard der 5. Generation“. In: fts-hennig.de. 25. September 2016 <https://www.fts-hennig.de/ratgeber/5g-mobiles-internet/>, (Abgerufen: 30. Juni 2020)
- [3] Seite „5G“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 27. Juni 2020, 06:36 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=5G&oldid=201343461> (Abgerufen: 2. Juli 2020, 07:50 UTC)
- [4] „5G wird Ihre Stadt und Ihr Leben komplett verändern. Sind Sie bereit?“. In: urban-hub.com. 05. März 2020 <https://www.urban-hub.com/de/technology/ist-ihre-stadt-bereit-fuer-die-chancen-von-5g/> (Abgerufen: 05. Mai 2020)
- [5] „How 5G works and what it delivers“. In: CNET-YouTube 04. Oktober 2019 <https://www.youtube.com/watch?v=iQeaK0NGMnA> (Abgerufen: 05. Mai 2020)
- [6] „Wissenswertes zu 5G“. In: Informationszentrum-Mobilfunk <https://www.informationszentrum-mobilfunk.de/technik/funktionsweise/5g> (Abgerufen: 04. Mai 2020)
- [7] „Entdecken Sie das neue Netz“. In: telekom.de <https://www.telekom.de/unterwegs/was-ist-5g/5g-mobilfunk> (Abgerufen: 30. Juni 2020)
- [8] Richard Gehrig: „Entwicklung mobiler Standard 5G“. Swisscom Magazin, 6. April 2018, <https://www.swisscom.ch/de/magazin/datensicherheit-infrastruktur/entwicklung-mobiler-standard-5g/> (Abgerufen: 30. Juni 2020)
- [9] "Customers in Chicago and Minneapolis are first in the world to get 5G-enabled smartphones connected to a 5G network". Verizon, 3. April 2019, <https://www.verizon.com/about/news/customers-chicago-and-minneapolis-are-first-world-get-5g-enabled-smartphones-connected-5g> (Abgerufen: 30. Juni 2020)
- [10] Alena Kammer, dpa: „Netzausbau: Durch 5G steigt Stromverbrauch in Rechenzentren stark an“. In: Die Zeit. 10. Dezember 2019, ISSN 0044-2070
- [11] Sabine Dahmen-Lhuissier: „ETSI - Mobile Technologies - 5g, 5g Specs | Future Technology“. <https://www.etsi.org/technologies/5g> (Abgerufen 1. Juli 2020)
- [12] Christopher Stanton: „What you Need to Know about 5G - eBook“. element14, 05. Mai 2020
- [13] Adelantado, Ferran; Vilajosana, Xavier; Tuset-Peiro, Pere; Martinez, Borja; Melia-Segui, Joan; Watteyne, Thomas (2017): Understanding the Limits of LoRaWAN. In: *IEEE Commun. Mag.* 55 (9), S. 34–40. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600613.
- [14] HORNBuckle CRAIG A (US). Veröffentlichungsnr: US7791415B2.

- [15] LoRa Alliance: Was ist LoRaWAN? LoRaWAN – Low Power Wide Area Network. Online verfügbar unter <https://www.lora-wan.de/>, zuletzt geprüft am 02.07.2020.
- [16] Juan Pedro Tomás (2020a): Hong Kong government announces subsidy program for 5G projects. Hg. v. RCRWirelessNews. Online verfügbar unter <https://www.rcrwireless.com/20200506/5g/hong-kong-government-announces-subsidy-scheme-5g-projects>, zuletzt geprüft am 02.07.2020.
- [17] Michael Eckstein (2019): LoRa-IoT-Software wird Open-Source – zumindest teilweise. Hg. v. Elektronik Praxis. Online verfügbar unter <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/lora-iot-software-wird-open-source-zumindest-teilweise-a-825907/>, zuletzt geprüft am 02.07.2020.
- [18] Robert Koning (2017): Was ist LoRa und LoRaWAN™. Hg. v. Smart City Solutions GmbH. Online verfügbar unter <https://www.smart-city-solutions.de/wp-content/uploads/2018/03/LoRa-und-LoRaWAN-erklaert.pdf>, zuletzt geprüft am 02.07.2020.
- [19] The Things Network: Building a global open LoRaWAN™ network. Online verfügbar unter <https://www.thethingsnetwork.org/>, zuletzt geprüft am 02.07.2020.
- [20] Zenner. Online verfügbar unter <https://www.zenner.de/iot/LoRaWAN-netzbetrieb.html>, zuletzt geprüft am 02.07.2020
- [21] Butt, Talal & Afzaal, Muhammad. (2017). Security and Privacy in Smart Cities: Issues and Current Solutions.
- [22] François Ingelrest, Guillermo Barrenetxea, Gunnar Schaefer, Martin Vetterli, Olivier Couach, and Marc Parlange. 2010. SensorScope: Application-specific sensor network for environmental monitoring. ACM Trans. Sen. Netw. 6, 2, Article 17 (February 2010)
- [23] L. Filippini, A. Vitaletti, G. Landi, V. Memeo, G. Laura and P. Pucci, Smart city: An event driven architecture for monitoring public spaces with heterogeneous sensors, 2010, pp. 281–286.
- [24] Kuchta, Radovan. (2014). Smart City Concept, Applications and Services. Journal of Telecommunications System & Management. 03. 10.4172/2167-0919.1000117.
- [25] Ahlers, Dirk, et al. "A measurement-driven approach to understand urban greenhouse gas emissions in Nordic cities." NIK, 2016.
- [26] F. Orfei, C. Mezzetti, and F. Cottone, "Vibrations powered LoRa sensor: An electromechanical energy harvester working on a real bridge," IEEE SENSORS, pp. 1-3, 2016.
- [27] Khutsoane, Oratile & Abu-Mahfouz, Adnan & Isong, Bassey. (2017). IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN. 10.1109/IECON.2017.8217061.
- [28] Giffinger, Rudolf & Fertner, Christian & Kramar, Hans & Kalasek, Robert & Milanović, Nataša & Meijers, Evert. (2007). Smart cities - Ranking of European medium-sized cities.
- [29] Rödiger, U.: Smart City – Europäische Städte smart in die Zukunft? Untersuchung des Smart City Konzepts am Beispiel Innsbruck. <http://www.smartcities.at/assets/Uploads/Masterarbeit-Smart-City-15032015-UlrikeRoediger.pdf> (2015).
- [30] Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N. et al. Applications of big data to smart cities. J Internet Serv Appl 6, 25 (2015).
- [31] R. F. A. M. Nor, F. H. K. Zaman and S. Mubdi, "Smart traffic light for congestion monitoring using LoRaWAN," 2017 IEEE 8th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), Shah Alam, 2017, pp. 132-137, doi: 10.1109/ICSGRC.2017.8070582.
- [32] A'ssri, Saifil & Zaman, Fadhlan & Mubdi, Shamry. (2017). The efficient parking bay allocation and management system using LoRaWAN. 127-131. 10.1109/ICSGRC.2017.8070581.
- [33] Vinod Kumar T.M. (2020) Smart Environment for Smart Cities. In: Vinod Kumar T. (eds) Smart Environment for Smart Cities. Advances in 21st Century Human Settlements. Springer, Singapore
- [34] L. Filippini, A. Vitaletti, G. Landi, V. Memeo, G. Laura and P. Pucci, "Smart City: An Event Driven Architecture for Monitoring Public Spaces with Heterogeneous Sensors," 2010 Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications, Venice, 2010, pp. 281-286, doi: 10.1109/SENSORCOMM.2010.50.
- [35] "Der Smart-City-Index listet die fortschrittlichsten Städte der Welt im Ranking", In t3n.de, 12. März 2019, <https://t3n.de/news/der-smart-city-index-listet-die-fortschrittlichsten-staedte-der-welt-im-ranking-1149536/> (Abgerufen 01.07.2020)
- [36] "Smart City", In t3n.de, <https://t3n.de/tag/smart-city/> (Abgerufen: 19.06.2020)
- [37] Juan Pedro Tomás (2020a): Hong Kong government announces subsidy program for 5G projects. Hg. v. RCRWirelessNews. Online verfügbar unter <https://www.rcrwireless.com/20200506/5g/hong-kong-government-announces-subsidy-scheme-5g-projects>, zuletzt geprüft am 02.07.2020.
- [38] Patrik Cerwall (2020): Ericsson Mobility Report. Online verfügbar unter <https://www.ericsson.com/49da93/assets/local/mobility-report/documents/2020/june2020-ericsson-mobility-report.pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2020
- [39] Juan Pedro Tomás (2020b): South Korea reaches 5G penetration of nearly 10%: Report. Online verfügbar unter <https://www.rcrwireless.com/20200416/5g/south-korea-reaches-5g-penetration-nearly-10-report>, zuletzt geprüft am 03.07.2020.
- [40] factorynet AG: Fraunhofer: Weitere 5G-Testumgebung wird in Deutschland eingerichtet. Online verfügbar unter <https://factorynet.at/a/fraunhofer-weitere-5g-testumgebung-wird-in-deutschland-eingerichtet>, zuletzt geprüft am 03.07.2020.
- [41] S. Karnouskos, P. G. Da Silva and D. Ilic, "Energy services for the smart grid city", 2012 6th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST), Campione d'Italia, 2012, pp. 1-6, doi: 10.1109/DEST.2012.6227925.
- [42] Bosch, Deepfield Connect: "Field Monitoring", unter <https://deepfield-connect.com/de/>, (Aufgerufen 02.07.2020)
- [43] "Das Interesse an Drohnen für die Industrie wird stetig wachsen", Interview. Annika Karstadt, Autor: Sven Eisenkrämer, 15. März 2017, <https://www.springerprofessional.de/automatisierung/cebitt/-das-interesse-an-drohnen-fuer-die-industrie-wird-stetig-wachsen-/12141966%20>, (Aufgerufen 02.07.2020)
- [44] "Stadtwerke ermöglichen neue Funktechnologie LoRaWAN", In Stadtwerke Karlsruhe, 29. Januar 2018, <https://www.stadtwerke-karlsruhe.de/swk/presse/meldungen/2018/20180129.php> (Aufgerufen 02.07.2020)
- [45] Koning R. (2020) LoRaWAN als Treiber der digitalen Stadt. In: Etezadzadeh C. (eds) Smart City – Made in Germany. Springer Vieweg, Wiesbaden
- [46] Seite „Mitfahrbank“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 11. Februar 2020, 17:32 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Mitfahrbank&oldid=196728395> (Abgerufen: 2. Juli 2020, 20:59 UTC)
- [47] V. Babu and V. Rajan, "Flood and Earthquake Detection and Rescue Using IoT Technology," 2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India, 2019, pp. 1256-1260, doi: 10.1109/ICCES45898.2019.9002406.
- [48] „Bosch Parking Lot Sensor“, Bosch Connected Devices and Solutions: <https://www.bosch-connectivity.com/de/produkte/connected-mobility/parking-lot-sensor/>, (Aufgerufen 29.07.2020)
- [49] Marvin LoRa development board: <https://www.kickstarter.com/projects/688158475/marvin-the-lora-development-board?lang=de> (Aufgerufen: 29.07.2020)
- [50] F. Tenzer (2020): Prognose zum Volumen der jährlich generierten digitalen Datenmenge weltweit in den Jahren 2018 und 2025. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/267974/umfrage/prognose-zum-weltweit-generierten-datenvolumen/>, zuletzt geprüft am 31.07.2020.